

Erkenntnisse über Bruchgefahr von Flugsportkarabinern

Was ist der Unterschied zwischen Bruchfestigkeit und Dauerfestigkeit?

Die Bruchfestigkeitsangabe am Karabiner bezieht sich auf eine einmalige Belastung. Bei mehrmaligem Wechsel von hoher Belastung (F_o) und nachfolgender hoher Entlastung (F_u) des Karabiners sinkt die Bruchfestigkeit.

Ab einer bestimmten Differenz der durch F_o und F_u verursachten Spannungen im Karabinerwerkstoff tritt eine Vorschädigung des Werkstoffs ein. Werden Karabiner vollständig entlastet ist $F_u = 0$.

Als Dauerfestigkeit bezeichnet man den oberen Wert die Belastung (F_o) bei der praktisch keine Vorschädigung des Werkstoffs mehr eintritt. Im Bereich der Luftfahrt wird die Dauerfestigkeit F_o durch Schwingversuche ermittelt. Dabei müssen die Karabiner 5 Mio. Lastwechsel ertragen, ohne zu brechen. Die Dauerfestigkeit eines Karabiners sollte den im Flug häufig auftretenden Schwingungen innerhalb der zulässigen Anhängelasten des Gurtzeugs mindestens entsprechen.

Der DHV ermittelte bei Gleitschirmflügen häufige Schwingungen mit $F_o = 80$ Kg bei einer Anhängelast von 90 Kg verteilt auf 2 Karabiner. Es kann davon ausgegangen werden, dass beim Drachenfliegen doppelt so hohe Belastungen des Karabiners auftreten.

Bei Karabinern mit Schnapperspiel kann die Differenz zwischen Bruchfestigkeit und Dauerfestigkeit aussergewöhnlich hoch sein. So wurden vom DHV beispielsweise für den Austrialpin Parafly Gleitschirmkarabiner eine Bruchlast von 1860 Kg und eine Dauerfestigkeit (mit geschlossenem Schnapper) von nur ca. 35 Kg ermittelt. 35 Kg Dauerfestigkeit sind jedenfalls nicht ausreichend. Dauerfestigkeitsnachweise sind daher für Flugsportkarabiner unbedingt erforderlich.

Was ist der Grund für die aussergewöhnlich niedrige Dauerfestigkeit von Flugsportkarabinern?

Auf Grund des Spiels im Verschlusschnapper, welches konstruktions- und fertigungsbedingt bei konventionellen Karabinern vorhanden ist, wird der Verschluss des Karabiners erst wirksam, wenn sich der Karabiner infolge einer mehr oder weniger hohen Belastung so weit aufbiegt, dass das Spiel verschwindet. Innerhalb des Schnapperspiels wird der Karabiner wie ein offener Ring beansprucht, darüber wie ein geschlossener Ring.

Beim Lastfall "offener Ring" verstärkt der Hebelarm der breiten Gurtauflage des Karabiners die Spannungen im Karabinerwerkstoff bei Be- und Entlastungen auf das 20-35-fache im Vergleich zum "geschlossener Ring". Bei schwingender Belastung über dem Kraftschlusspunkt des Schnappers (Lastfall geschlossener Ring) ist der Spannungszuwachs bei gleicher Laststeigerung auf Grund des nunmehr veränderten Tragsystems dementsprechend geringer. Ein Karabiner mit Schnapperspiel weist also für Schwingbelastungen unterhalb und oberhalb des Kraftschlußpunkts unterschiedliche Spannungszu- und -abnahmen auf.

Bei Karabinern mit Schnapperspiel muss man also zwei Dauerfestigkeiten unterscheiden: Eine Dauerfestigkeit F_{ou} bis zum Kraftschlusspunkt, und eine Dauerfestigkeit F_{oo} über dem Kraftschlusspunkt.

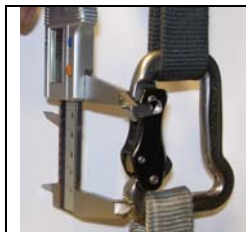
Für die Dauerfestigkeit unter dem Kraftschlusspunkt ist die schwingende Belastung kritisch, bei der der obere Wert der Schwingbelastung F_{ou} gerade der Last F_k entspricht, bei der der Kraftschluss im Schnapper eintritt. Die einer solchen Schwingung folgende Entlastung F_u bewirkt dann, dass die Spannungen im Karabinerwerkstoff in entsprechend tiefe Werte zurückgehen. Die für die Dauerfestigkeit maßgebliche Differenz der Spannungen im Karabinerwerkstoff erreicht hier ein Maximum. Eine weitere kritische Schwingbelastung mit F_{oo} oberhalb des Kraftschlusspunkts ist gewöhnlich nicht mehr relevant.

Für die dynamische Beanspruchung von konventionellen Flugsportkarabinern kann daher vereinfacht angenommen werden, dass ein Karabiner sicher ist, wenn die mit offenem Schnapper ermittelte Dauerfestigkeit F_{ou} deutlich größer ist, als die Last F_k , die zum Kraftschluss des Schnappers erforderlich ist. Das ist aber bei einem Großteil der zur Zeit in Betrieb befindlichen Karabiner nicht der Fall.

Bei welcher Belastung werden Karabinerverschlüsse kraftschlüssig?

Entscheidend für die Ermittlung der Dauerschwingfestigkeit eines Karabiners ist daher die Last (F_k) bei der Kraftschluss eintritt. Wie die Beispiele in untenstehender Tabelle zeigen, streuen die Toleranzen der Karabiner auch innerhalb eines Typs über einen weiten Bereich. F_k muss deshalb individuell für den in Gebrauch befindlichen Karabiner ermittelt werden.

Zur Ermittlung von F_k haben wir einige Karabiner schrittweise belastet und gemessen, wie sich das Schnapperspiel mit der Belastung verringert. Wenn bei weiterer Belastung keine Veränderung des Schnapperspiels mehr eintrat war der Kraftschluss erreicht. Die für den Kraftschluss erforderliche Belastung F_k konnte so mit einer Genauigkeit von etwa +/- 2 Kg ermittelt werden.



Das Bild zeigt die Versuchsanordnung zur Ermittlung von F_k .

Die Anordnung der Gurte ist ähnlich wie beim Dauerschwingtest des DHV.












Um das Schnapperspiel genau messen zu können, wurden an der Schnapper-seite des Karabiners Passstifte angebracht.

Für die überschlägige Überprüfung der Sicherheit seiner Karabiner kann jeder Pilot den Kraftschlusspunkt F_k seines Karabiners selbst feststellen, indem er ermittelt, bei welcher Belastung sich der Schnapper nicht mehr öffnen lässt. Das Messen des Schnapperspiels ist dabei nicht erforderlich.

Bei vielen Karabinertypen ist das Schnapperspiel nicht sichtbar, weil der Verschluss den Verschlusshaken verdeckt.

Tipps für die praktische Versuchsdurchführung zur Ermittlung des Kraftschlusspunkts unter:
<http://www.fensterwalder-charly.de>

Es wurden zum Beispiel folgende Werte ermittelt:

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Typ</i>	<i>Chargen-Kennung</i>	<i>Schnapperspiel des geprüften Karabiners</i>	<i>Gemessener Kraftschlusspunkt F_k bei</i>	<i>Bleibende Verformung F_{vo} Schnapper offen bei ca.</i>	<i>Vorversuche zu Dauerfestigkeit F_{ou} Schnapper offen ca.</i>	<i>Erforderlicher Kraftschluss $F_{k\text{erf}}$ bei F_{ou}: 1.2</i>	<i>Dauerfestigkeit Schnapper geschlossen</i>
 Austrialpin Parafly Alu eloxiert (1) Gleitschirmkarabiner	-0-0-0-0-4	2,52 mm	147 Kg	225 Kg	25 Kg *	21 Kg	nicht gegeben
Austrialpin Parafly Alu eloxiert (2) Gleitschirmkarabiner	-0-0 0 0 5	0,64 mm	39 Kg	225 Kg	25 Kg *	21 Kg	nicht gegeben
Austrialpin Parafly Alu eloxiert (3) Gleitschirmkarabiner	-0-0 0 0 5	0,30 mm	15,5 Kg	225 Kg	25 Kg *	21 Kg	gegeben
 Austrialpin Powerfly Inox Stahl (1) Gleitschirmkarabiner	0-0-0-0-0-0 000001	0,65 mm	65,1 Kg	250 Kg	35 Kg *	29 Kg	nicht gegeben
Austrialpin Powerfly Inox Stahl (2) Gleitschirmkarabiner	0-0-0-0-0-0 000001	0,38 mm	39 Kg	250 Kg	35 Kg *	29 Kg	nicht gegeben
 Supair Twistlock Alu Gleitschirmkarabiner (1)	fehlt	0,94 mm	58 Kg	380 Kg	70 Kg *	58 Kg	gegeben
Supair Twistlock Alu Gleitschirmkarabiner (2)	C04	1,45 mm	85,5 Kg	380 Kg	70 Kg *	58 Kg	nicht gegeben
 Supair Twistlock Stahl Gleitschirmkarabiner	001	1,13 mm	86 Kg	350 Kg	50 Kg ***	42 Kg	nicht gegeben
 Camp Twistlock Alu Gleitschirmkarabiner KN 20	fehlt	1,31 mm	77 Kg	440 Kg	49 Kg **	41 Kg	nicht gegeben
 Austrialpin 3200 Delta Rechteck-Stahlkarabiner 12 mm Drachenkarabiner	1,15 mm	214 Kg	300 Kg	42 Kg **	35 Kg	nicht gegeben
 Austrialpin 35 KN Stahlkarabiner 12 mm Runde D-Form Klauenverschluss	CE 0511	0,42 mm	68 Kg	535 Kg	75 Kg **	62 Kg	nicht gegeben
 Austrialpin 3800 Stahlkarabiner 12 mm Runde D-Form Interlock Verschluss	CE960511	0,65 mm	105 Kg	495 Kg	69 Kg **	58 Kg	nicht gegeben
 Stubai Super 5000 D-Form für Seile	CE0408	0,37 mm	164 Kg	1750 Kg	245 Kg **	204 Kg	gegeben

* im Dauerschwingversuch mit 5 Mio. Lastwechseln vom DHV ermittelt
 ** aus F_{vo} errechnet
 *** im Dauerschwingversuch mit 4 Versuchen von einem akkreditierten Prüfinstitut ermittelt (beauftragt durch Finsterwalder)

Neben dem Kraftschlusspunkt F_k haben wir mit gleicher Versuchsanordnung noch ermittelt, bei welcher Belastung F_{vo} mit offenem Schnapper sich der Karabiner derart verformt, dass der Verschluss funktionsuntüchtig wird. Da man in Annäherung davon ausgehen kann, dass zwischen der im Schwingversuch ermittelten Dauerfestigkeit und dem Beginn bleibender Verformung eines Karabiners (die eine deutliche Überschreitung der Fließgrenze anzeigt) ein linearer Zusammenhang besteht, kann man die voraussichtliche Dauerfestigkeit aus F_{vo} ungefähr abschätzen.

Auf dieser Basis kann man unter Einrechnung einer Sicherheit von 20% für die in der Tabelle angegebenen Karabiner die Lasten angeben, bei denen Kraftschluss im Schnapper vorhanden sein muss. Ist der im Versuch ermittelte Kraftschlusspunkt F_k kleiner oder gleich groß $F_{k\text{erf}}$ (Vergleich der Spalten 4 und 7 der Tabelle) hat der Karabiner eine ausreichende Schwingfestigkeit.

Von den untersuchten Karabinern erfüllen nur zwei dieses Kriterium (siehe Tabelle).

Aus dem Abschnitt Betriebsbelastungen (siehe unten) errechnet sich auf Grund seiner hohen Belastbarkeit mit offenem Schnapper errechnet sich für den Stubai Super 5000, dass er für die im Flugbetrieb häufig auftretenden Belastungen **unabhängig von seinem Schnapperspiel** dauerhaft bis zu einer Anhängelast von 115 Kg ist.

Warum sind bisher relativ wenige Fälle von Dauerschwingbrüchen im Flugsport bekannt geworden?

Wie bereits ausgeführt, verhindert der Kraftschluss des Schnappers bei hohen Belastungen eine starke Überbeanspruchung des Karabinerwerkstoffs. Bei nur geringer Überbeanspruchung durch schwingende Betriebsbelastung tritt ein Schwingbruch nicht sicher ein, es besteht lediglich die Möglichkeit eines Schwingbruchs. Jahrelang fuhren ICE Züge mit nicht dauerfesten Radreifen, bevor ein Radreifen bei Eschede brach und eine Katastrophe verursachte. Dieser Radreifen war nicht einmal besonders lange im Einsatz. Es ist auch davon auszugehen, dass nicht alle Fälle von Dauerschwingbrüchen bekannt wurden, da es bisher nicht zu Personenschäden gekommen ist. Die Karabiner brachen meist beim Start. Das liegt daran, dass durch die Schwingbelastung während eines Fluges zunächst ein Riss im Karabiner entsteht. Durch diesen Riss wird der Schnapper kraftschlüssig, weshalb sich die Spannungs-schwankungen im Karabinerwerkstoff so weit vermindern, dass der Karabiner gewöhnlich nicht sofort vollständig durchbricht. Die Belastungsfähigkeit eines eingerissenen Karabiners mit geschlossenem Verschluss ist allerdings mehr oder weniger dem Zufall überlassen. Sofern ein Riss auftritt, ist die Tragwirkung eines Bauteils als verloren anzusehen! Das Versagen eines infolge von Materialermüdung beschädigten Karabiners kann man jedenfalls nicht als Gewaltbruch bezeichnen.

Sind Betriebsdauerbegrenzungen bei unzureichender Dauerfestigkeit eine Lösung?

Ein Überschreiten der im Versuch ermittelten Dauerfestigkeit durch die Betriebsbelastung ist im Bereich der Luftfahrt nicht zulässig, denn ein Bruch kann dann (wenn auch mit geringer Wahrscheinlichkeit) auch schon nach einer relativ geringen Zahl von Schwingungen ohne Vorankündigung auftreten. Eine Formel für die Begrenzung der Nutzungsdauer bei Dauerfestigkeitsüberschreitung existiert daher nicht. Im Gegenteil: In allen Bereichen der Technik werden Sicherheiten eingeplant. Diese sind erforderlich um Streuungen, in den Festigkeiten des Werkstoffs und Produkts zu berücksichtigen. Im Bauwesen wird für die Dauerfestigkeit eine 2,5-fache Sicherheit gefordert sofern unmittelbare Lebensgefahr bei Versagen eines Bauteils besteht. Bei den für den Flugzeugbau vorgeschriebenen Versuchen wird für die Dauerfestigkeit von tragenden Bauteilen ein Sicherheitsbeiwert von 1,75 verlangt.

Zwar existieren für im Luftsportbereich eingesetzte Karabiner noch keine Vorschriften, doch müssen Vorschriften aus ähnlichen Bereichen der Technik analog angewandt werden. Durch die bisher vom DHV durchgeführten Dauerschwingversuche und die vom DHV ermittelten Höhe und Häufigkeit der Betriebsbelastungen ist die von den Karabinerherstellern festgelegten Nutzungsdauerbegrenzung von 500 Betriebsstunden für die Austrialpin und Supair Alukarabiner und von 1500 Betriebsstunden für die Austrialpin Stahlkarabiner in keiner Weise abzuleiten. Die Ermüdungsfestigkeit hängt entscheidend vom Kraftschlusspunkt ab, welcher für die Karabiner bisher nicht definiert ist. Im Dauerschwing-versuch des DHV wurde ein Parafly mit F_{ou} 70 Kg beansprucht. Er brach bereits nach 33400 Lastwechseln. Wir ermittelten bei Parafly Karabinern Kraftschlusspunkte F_k mit bis zu 147 Kg!

Da die latente Bruchgefahr nicht eingrenzbar ist, sind Betriebsdauerbegrenzungen auf Grund mangelnder Dauerfestigkeit nicht zulässig. Ein nicht dauerfester Karabiner ist nicht lufttüchtig.

Wann sind Betriebsdauerbegrenzungen sinnvoll?

Die Betriebsdauer wird begrenzt, wenn wegen Verschleiss, Korrosionsgefahr oder ähnlichem, die Lufttüchtigkeit ab einer gewissen Gebrauchsdauer, nicht mehr garantiert werden kann. Mangelnde Dauerfestigkeit ist jedoch kein Verschleiß, sondern eine vermeidbare Gefahr, die von Anfang an besteht. Bei nicht ausreichender Dauerfestigkeit eines Karabiners tritt innerhalb des normalen Flugbetriebs mit jeder Schwingung, die eine bestimmte Größe überschreitet, eine Schädigung des Karabinerwerkstoffs ein. In der Summe können diese Schädigungen schon nach kurzer Zeit zu einem Bruch führen.

Auch wenn die Betriebsdauer aus anderen Gründen als mangelnder Dauerfestigkeit begrenzt wird, ist die Angabe von Betriebsstunden ist nur dann sinnvoll, wenn Betriebsstundenzähler vorhanden sind oder das Führen eines Flugbuchs zwingend vorgeschrieben ist. Da dies für den Bereich des Flugsports nicht zutrifft, müssen Nutzungsdauerangaben für Karabiner nicht in Stunden, sondern für eine Zeit ab Kaufdatum angegeben werden. In Bezug auf Produkthaftung ist die Angabe von Betriebsstunden im Schadensfall nicht relevant, da nach geltender Rechtslage jedenfalls der GURthersteller haftbar ist, wenn die Betriebsstunden des Karabiners nicht nachgewiesen werden können.

Betrifft das Dauerschwingproblem auch andere im Flugsportbereich verwendete Bauteile?

Da bei den vorgeschriebenen Lufttüchtigkeitsprüfungen ein Vielfaches der im normalen Flugbetrieb auftretenden Lasten geprüft wird, erübrigen sich gewöhnlich Extraprüfungen für die Dauerfestigkeit der Bauteile. Die im gewöhnlichen Flugbetrieb häufig auftretenden Betriebsbelastungen sind im Vergleich zu den Prüflasten so niedrig, dass sie für die Dauerfestigkeit nicht relevant sind.

Wären die Zulassungstests der Gurtzeuge mit Schnapper- offenen Karabinern durchgeführt worden, wäre die mangelnde Festigkeit sofort erkannt und durch Veränderung der Konstruktion eliminiert worden.

Welche Betriebsbelastungen sind für Flugsportkarabiner von Bedeutung?

Die Messungen des DHV mit 90 Kg Anhängelast am Gleitschirmgurt zeigen, dass jeder Karabiner beim Start von 0 auf etwa 70 Kg belastet wird. Im Thermikflug sind Belastungswechsel zwischen 30 Kg und 60 Kg typisch. In Kurvenflug treten häufig Lastwechsel zwischen $F_u = 25$ Kg und $F_o = 80$ Kg auf. Die Spitzenwerte im Spiralfly liegen zwischen $F_u = 20$ Kg und $F_o = 120$ Kg. Die Lastwechsel erfolgen teilweise innerhalb von Sekundenbruchteilen. Die gemessenen Werte sind vom Pilotengewicht abhängig und müssen für F_o auf das maximal zulässige und für F_u auf das minimal zulässige Pilotengewicht umgerechnet werden. Für Drachenkarabiner kann von den doppelten Werten ausgegangen werden. Daraus ergibt sich: Die Dauerfestigkeit F_{ou} eines Karabiners mit offenem Schnapper muss um einen Sicherheitsfaktor (mindestens 1,2) höher sein als der Kraftschlusspunkt F_k des Schnappers und die Dauerfestigkeit des kraftschlüssigen Karabiners muss höher als die häufige Betriebsbelastung multipliziert mit einem Sicherheitsfaktor (mindestens 1,2) sein.

Umgerechnet auf jeweils 120 Kg Anhängelast ergibt sich somit eine erforderliche Dauerfestigkeit F_{oo} für kraftschlüssige Gleitschirmkarabiner von $1,33 \times (F_o)80 \times 1,2 = 128$ Kg. Für kraftschlüssige Drachenkarabiner wäre eine Dauerfestigkeit $F_{oo\text{ erf}}$ von 256 Kg erforderlich wenn die häufigen Belastungen im Kurvenflug als Grundlage angenommen werden.

Sind leichte Piloten weniger gefährdet als schwere Piloten?

Angenommen der Verschlusschnapper eines Austrianpin Parafly Gleitschirmkarabiners wird bei 50 Kg kraftschlüssig. Die Ermüdungsfestigkeit des Karabiners mit offenem Schnapper beträgt 25 kg. Es fliegen jeweils Piloten mit Anhängelasten von 60 kg bzw. 120 kg. Gemäß den vom DHV ermittelten häufigen Betriebsbelastungen im Kurvenflug erfährt der Karabiner für die Piloten mit 60 Kg bzw. 120 Kg bei den Entastungen Spitzenwerte von 16,6 kg bzw. 33,3 kg und bei der Belastung Spitzenwerte von 53,3kg bzw. 106,7 kg.

Die dynamische Belastung des Karabiners stellt sich dann wie folgt dar:

Austrianpin Parafly, Pilot 60 Kg Kraftschlusspunkt 50kg:

Dynamischer Anteil vor Kraftschluss

Dynamischer Anteil nach Kraftschluss (um den Faktor 20 ermäßigt)

$$50 - 16,6 = 33,4 \text{ Kg}$$
$$\frac{(53,3 - 50)}{20} = 0,2 \text{ Kg}$$
$$33,6 \text{ Kg}$$

Die Schwingungsbreite von 33,6 Kg liegt beim leichten Piloten über der Ermüdungsfestigkeit von 25 Kg .

Austrianpin Parafly, Pilot 60 Kg Kraftschlusspunkt 50kg:

Dynamischer Anteil vor Kraftschluss

Dynamischer Anteil nach Kraftschluss (um den Faktor 20 ermäßigt)

$$50 - 33,3 = 16,7 \text{ Kg}$$
$$\frac{(106,7 - 50)}{20} = 2,8 \text{ Kg}$$
$$19,5 \text{ Kg}$$

Die Schwingungsbreite von 19,5 Kg liegt beim schweren Piloten unter der Ermüdungsfestigkeit von 25 Kg.

Das Beispiel zeigt, dass leichte Piloten unter Umständen ungünstigere dynamische Beanspruchungen im Karabiner auslösen, als schwere.

Sind Stahlkarabiner sicherer als Alukarabiner?

Ob ein Karabiner sicher ist oder nicht, hängt allein von seiner Ausbildung ab. Gewöhnlich hat Stahl eine höhere Dauerfestigkeit als Aluminium. Die Dauerfestigkeit hängt jedoch von einer Vielzahl von Faktoren ab. Entgegen der landläufigen Meinung bricht zäher und weicher Stahl infolge von dynamischer Überbeanspruchung ebenso spröde (ohne Verformungen im Bereich der Bruchstelle und ohne Vorwarnung), wie wenig verformbare Werkstoffe. Entscheidend ist vor allem, wie weit Spannungen durch schwingende Belastung in die Nähe der Verformungsgrenze des Werkstoffs geraten. Hochfeste Aluminiumlegierungen haben eine ähnliche Festigkeit wie gebräuchliche ungehärtete Inox Stähle. Daher ist auch der Unterschied der Dauerfestigkeit gering. Bei der Herstellung der Karabiner aus gebogenen Stangen entstehen in den Biegungen starke Rückstellkräfte die an der Innenseite der Biegung Zugspannungen verursachen. Diese addieren sich zu den durch Betriebsbelastung entstehenden Spannungen. Die Beseitigung dieser Spannungen durch Tempern kann unterschiedlich gut gelingen. Bezogen auf das Gewicht haben hochwertige Aluminiumlegierungen eine höhere Festigkeit als Stahl, weswegen der Werkstoff Aluminium in der Luftfahrt überwiegt.

Aluminiumkarabiner mit Schnapperspiel haben gegenüber Stahlkarabinern mit Schnapperspiel den Vorteil, dass bei gleichem Schnapperspiel (sofern die Abmessungen der Karabiner ähnlich sind) der Alukarabiner einen wesentlich niedrigeren Kraftschlusspunkt hat. Der Grund hierfür ist die etwa dreifach niedrigere Steifigkeit von Aluminium in Vergleich zu Stahl.

Waren die Brüche der eloxierten Parafly Karabiner in Tschechien und Brasilien Gewaltbrüche?

Informieren sie sich unter <http://www.finsterwalder-charly.de> und machen Sie sich selbst ein Bild.

Fazit:

- Im Bereich des Schnapperspiels wird der Karabiner mit geschlossenem Schnapper gleich belastet wie mit offenem Schnapper. Die für die Dauerfestigkeit maßgeblichen Spannungen im Werkstoff des Karabiners vervielfachen sich in diesem Bereich etwa um das 20-35-fache.
- Bei Karabinern, deren Verschluss keinen Kraftschluss aufweist, besteht die Gefahr eines Dauerschwingbruchs, wenn der Kraftschluss im Verschlusschnapper bei einer Belastung (F_k) eintritt die größer ist als die um 20% verminderte Dauerschwingfestigkeit (F_{ou}) des Karabiners, welche mit offenem Schnapper in der Versuchsanordnung des DHV ermittelt wurde.
- Das Risiko der Materialermüdung der Karabiner innerhalb des Schnapperspiels betrifft in gleicher Weise leichte wie schwere Piloten.
- Nicht dauerfeste Karabiner sind nicht lufttuchtig.
- Den Kraftschlusspunkt F_k sollte jeder Pilot selbst für seinen Karabiner ermitteln, indem er den Karabiner stufenweise belastet und prüft, bei welcher Last sich der Schnapper gerade nicht mehr bewegen lässt. Einen Vorschlag wie dieser Versuch praktisch durchgeführt werden kann, finden Sie unter: <http://www.finsterwalder-charly.de>
- Die Dauerfestigkeit F_{ou} verschiedener Aluminium- und Stahlkarabiner mit offenem Schnapper wurde vom DHV ungefähr mit 25-50 Kg festgestellt. Die Karabinerhersteller bzw. der DHV sind aufgefordert genaue Werte von F_{ou} der Karabiner (Schnapper offen, in der Versuchsanordnung des DHV) zu ermitteln **und zu veröffentlichen**.
- Nach jedem Flug sind die Karabiner mit Schnapperspiel auf Risse in der Biegung an der dem Schnapper gegenüber liegenden Seite zu untersuchen. Nebenstehendes Bild zeigt solche Risse. Die Tragwirkung eines eingerissenen Karabiners ist als verloren anzusehen.
- Die Hersteller von Karabinern mit Verschlusspiel sollten den Kraftschlusspunkt ihrer Karabiner durch Anhängen eines Gewichts mit $F_{k\text{ erf}}$ zulässig zu prüfen und die Karabiner mit einer Gravur "geprüft dauerfest" verkaufen.
- Solange Zweifel an der Dauerfestigkeit des in Gebrauch befindlichen Karabiners bestehen, wird empfohlen, am Karabiner eine zusätzliche Sicherung anzubringen.

